農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯　53-72, 1996.

二氧化硫對蔬菜作物之傷害及和黑斑病發生之交互作用

謝式坢鈺　紀廷勳
國立中興大學植物病理學研究所

內　容

摘要……54
英文摘要……54
前言……55
材料與方法……56
結果……60
討論……68
誌謝……71
引用文獻……71

二氧化硫對蔬菜作物之傷害及和黑斑病發生之交互作用

謝式坪鈺　紀廷勳

國立中興大學植物病理學研究所

摘　要

本文敘述二氧化硫(SO_2)傷害蔬菜作物的症狀、不同蔬菜作物或其品種對SO_2之敏感性以及SO_2的傷害與眞菌性病害黑斑病發生之交互作用。SO_2傷害蔬菜作物之症狀可分爲乾化、白化、褐化、黃化或水浸狀，依種類、處理濃度和處理時間而異，嚴重時造成葉片扭曲和萎凋。葉菜類中以芹菜和萵苣較敏感，而莧菜、皇宮菜和油菜(農友)較耐性，敏感蔬菜處理800 ppb三天(6 hr/day)傷害度大於50%者有芹菜、三種萵苣(平葉、嫩莖、皺葉)、菠菜(139)和芫荽。瓜類則依品系不同而異；而以西瓜(富寶)、冬瓜(吉樂)和洋香瓜最有耐性，胡瓜(瑞綠)和絲瓜(七美)最敏感。其他蔬菜作物則以黑眼缸豆最敏感。品種間差異較大者有茼蒿大葉種受害度53.9%而細葉種19.1%; 油菜 品系6931 受害度爲47.1% 而農友只有7.1%; 胡瓜瑞綠有52.4%, 而萬綠12.5% ;絲瓜七美46.7%,而品系 91035只有7.5%。蔬菜作物依症狀可區分爲:乾化者有絲瓜、胡瓜、南瓜和蒜。白化者有茼蒿、甜豌豆、番茄、油菜、蔥、甜椒、辣椒、芥藍菜、菠菜、蕪菁、花椰菜、青花菜、結球白菜、茄子、蘿蔔裂葉種、白菜6953、白菜農友2號和鳳山白菜。褐化者有芹菜、韭菜、和芫荽。黃化者有黃金白菜、莧菜和白莧。先出現水浸狀再轉爲白化或褐化者爲萵苣、芥藍菜和黑眼缸豆。測定51番椒和50結球白菜品系，發現番椒C16 受害度最大，C50則最耐有耐性。結球白菜B11受害度最大，B26則受害度最小。SO_2 不影響芥藍菜黑斑病菌(*Alternaria brassicicola*)菌絲在培養基上之生長，但其產孢量則明顯降低，病菌孢子在寄主葉片表面上發芽後形成附著器，以及侵入形成病斑數目受SO_2 影響而減少。感染*A. brassicicola*之芥藍菜對SO_2比較敏感，其可能之原因爲，芥藍菜感染病菌後，導致寄主的超氧岐化酵素降低、穀胱甘呔還原酵素被抑制、抗壞血酸氧化酵素受影響，使寄主植物清除SO2的作用受抑制。而造成SO_2降低黑斑病病斑數目之可能原因爲，SO_2減少*A. brassicicola*附著器之形成。

關鍵詞：空氣污染、二氧化硫、蔬菜作物、品種敏感性、黑斑病。

Damage of Vegetable Crops by Sulfur Dioxide and Its Interactions with Black Spot Disease

Shih-Pan-Yu Hsieh and Ting-Hsun Chi (Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC)

ABSTRACT: This article describes the symptoms of various vegetable crops caused

by sulfur dioxide (SO_2) treatment, differential sensitivities of various vegetable crop species and/or their varieties to SO_2, and the interactions of the SO_2 damage and the occurrence of black spot disease. The symptoms of vegetables caused by SO_2 could be divided into several forms, i.e., drying , whitish, yellowing, necrosis, water soaking and wilting. The symptoms became more severe after extending duration of treatment. As necrotic lesions enlarged, leaves usually became curling along edge of the leaves. Among tested leafy vegetable crops, celery, lettuce,spinach (139) and coriander were sensitive to SO_2. As a contrast, Chinese amaranth and tampala were tolerant .In cucurbits, water melon and muskmelon were tolerant, while cucumber (evergreen), and sponge cucumber (seven beauty) were sensitive. Large varietal difference in SO_2 sensitivity among different cultivars of the same species was found in , crown daisy, Chinese mustard, cucumber and sponge cucumber. Fifty one pepper and fifty Chinese cabbage varieties / lines were used to evaluate their sensitivities to SO_2. The pepper C16 and Chinese cabbage B11 were the most sensitive, and pepper C50 and Chinese cabbage B26 were the most tolerant to SO_2. Mycelial growth of *A. brassicicola*, the causal organism of black spot of Chinese kale, on media was not affected by SO_2. However, the sporulation on media and formation of appressoria and development of lesions on host leaves decreased significantly by SO_2. The degree of injury by SO_2 was more severe on Chinese kale leaves infected with *A. brassicicola*. The possible reasons for this phenomenon were decreased activities of superoxide dismutase, inhibited glutathione reductase activities and increased ascorbic acid oxidase activities by the pathogen. It suggested that scavenging of harmful products from SO_2 was inhibited by the infection of *A. brassicicola*.

Key words: Air pollution, Sulfur dioxide, Vegetable crops, Varietal sensitivities, Black spot disease.

前　言

引起植物病害的因子可分爲生物性(傳染性)及非生物性(非傳染性)，空氣污染引起之植物病害屬於非傳染性病害之一。空氣污染物早在十四世紀，由於人類開始利用煤當燃料就成爲社會問題，臺灣在近三十年來，由於工業快速發展，使得空氣污染問題非常嚴重。

隨著工業發達，工廠不斷地建立，伴隨經濟的成長，高度工業化與都市化的結果，人類的生存空間產生了不可忽視的潛在威脅，而空氣污染因能擴散及隨風飄送，故其影響面很大。在眾多空氣污染源中，二氧化硫(SO_2)是最早爲人們所發現，亦是研究最多的一種污染物，其來源有自然現象所產生，如火山爆發會產生SO_2及H_2S，人類的活動也會造成SO_2的污染，如石化產物和煤的燃燒。此外工廠的意外也會造成SO_2局部而嚴重的污染，如冶煉工業、熔煉硫礦及生產硫酸。而都會區交通工具排放廢氣，尤其是柴油車亦會排放SO_2。

二氧化硫對植物之傷害，可分爲急性與慢性(Shiau 等, 1993；U. S. Environment Protection Agency, 1978)，急性傷害爲高濃度SO_2所造成，其症狀爲漂白、黃化、水浸狀病斑，最後造成葉片捲曲、枯萎或全株死亡。慢性傷害爲低濃度SO_2所造成，常使

植物有生長變緩慢、黃化、產量降低、品質變差等現象(李、李, 1984；林等, 1986；Shiau 等, 1993)。本研究測試57種不同蔬菜作物種類及其部份品種，其中包括番椒51品系和結球白菜50品系，探討SO_2對其所造成之傷害症狀，特別注意不同品系間對SO_2忍受性之差異。

二氧化硫除可直接傷害植物外，尚可造成其生理和生化上之變化，這些變化對植物本身也許不會影響產量(Dohmen, 1987)，但可能導致植物對病菌產生不同之反應，變成較感病或較抗病(Heagle, 1982；Hughes & Laurence,1984)。白花芥藍菜(*Brassica oleracea* L. Alboglabra group)的生育期長達三個月，它的葉片常遭受黑斑病菌*Alternaria brassicicola* 和*A. brassicae*的爲害，在臺灣以前者的發生率較高，影響產量和品質(鍾, 1993)。植物病原眞菌對SO_2的反應不一，在工礦工廠附近SO_2濃度較高，會減少植物葉部各種子囊菌的發生率(金、吳, 1990)。本文主要目的在於探討SO_2與白花芥藍菜黑斑病菌的交互作用，明瞭黑斑病菌與SO_2同時爲害時對芥藍菜造成之影響。

材料與方法

供試作物之種類

供試蔬菜作物之種類如下表一。

表一、供試蔬菜作物種類

Table 1. Vegetable crops used in this study.

中文名稱	英文名稱	學　名	品 種 名 稱
茼蒿	Garland chrysanthemum	*Chrysanthemum coronarium* L.	大葉種、細葉種
番茄	Tomato	*Lycopersicon esculentum* Mill.	台南選2號、台南選4號
白菜	Chinese cabbage	*Brassica chinensis* L.	6953、鳳山白菜、黃金白菜、農友2號
大白菜	Chinese cabbage	*Brassica petsai* var. dentata Mat. et Nak	075
油菜	Field mustard	*Brassica campestris* L.	6960、6931、80天油菜、農友
胡瓜	Cucumber	*Cucumis sativus* L.	瑞綠、綠豐, 90801永綠、萬綠
南瓜	Pumpkin	*Cucurbita ficifolia*	鳳凰、木瓜型
冬瓜	Wax gourd	*Benincasa hispida* (Thunb.) Cogn	吉樂
萵苣	Lettuce	*Lactuca sativa* var. *sativa*	平葉
萵苣	Lettuce	*L. sativa* var. *asparagina*	嫩莖
萵苣	Lettuce	*L. sativa* var. *crispa*	皺葉
莧菜	Chinese amaranth	*Amaranthus mangostanus* L.	TV13509
紅莧	Chinese amaranth	*A. mangostanus* L.	
白莧	Chinese amaranth	*Amaranthus tricolor* L.	
絲瓜	Vegetable sponge	*Luffa cylindrica* Roem.	七美、七星、91039 東光、91035
芥藍菜	Chinese kale	*Brassica oleracea* L	273
青花菜	Green cauliflower	*B. oleracea* L. var. *italica* plenck	053
菠菜	Spinach	*Spinacia oleracea* L.	139
紅蘿蔔	Carrot	*Daucus carota* L.	
蘿蔔	Chinese radish	*Raphanus sativus* L.	友和、板葉種
北蔥	Green onion	*Allium fistulosum* L.	234
蒜	Garlic	*Allium sativum* L.	111
芫荽	Coriander	*Coriandrum sativum* L.	146
茄子	Eggplant	*Solanum melongena* L. var. *esculentum* Nees.	屏東長茄
花椰菜	Cauliflower	*B. oleracea* var. *botrytis* L.	015
芹菜	Celery	*Apium graveolens* L.	海南青
甜豌豆	Sugar pea	*Pisum sativum* L.	農友
西瓜	Watermelon	*Citrullus lanatus* (Thunb) Matsum	富寶
洋香瓜	Muskmelon	*Cucumis melo* L. Reticulatus Group	秋香
蕪菁	Turnip	*Brassica rapa* L.	
辣椒	Red pepper	*Capsicum annuum* L.	英雄
番椒	Pepper	*Capsicum annuum* L.	51品系
青椒	Sweet pepper	*C. annuum* L var. *grossum* Seudt..	110
韮菜	Chinese leek	*Allium tuberosum* Rottl. ex K. Spreng(*A. odorum* L.)	小葉種
結球白菜	Chinese cabbage	*Brassica pekinensis* Rupr.	50品系
皇宮菜	Malabar spinach	*Basella alba* L.	
山茼蒿	Nodding burnweed	*Erechtites ralerianaefolia*	
黑眼豇豆	Cowpea	*Vigna sinensis* Hassk.	

供試作物之種植

各種蔬菜種子以包您好2000倍(25％撲克拉乳劑)消毒1 hr，經清水洗淨藥液後，放入30℃定溫箱中催芽，每日水洗一次，待種子發芽後播種到育苗盆中，七天後移植至定植盆(60x17x19 cm)中，盆內裝混合有機肥料和砂質壤土的栽培基質，種植後每十天施用台肥5號複合肥料一次，每盆約2 g。生長期中施用適量好年冬粒劑(3％加保扶)以防蟲害，處理之作物株齡除番椒30天外，其他蔬菜作物爲25天，分別處理800及1200ppb SO_2五天。處理前將枯黃老葉剪除，並於前一天預先將植株放入燻蒸室。

燻蒸室之控制

燻蒸室爲由透明密封玻璃蓋成(長x寬x高=2x2x2.5 m)，使自然光可以進入燻蒸室，室內四角裝各置一小風扇(直徑12 cm)以攪

拌氣流，溫度由溫濕度控制器調節在27±3℃。並放置溫濕度計錄器(Ratona,Model R-704, Sato Keiryoki Co)記錄實際溫濕度，處理用SO_2氣體由填充5% SO_2加95%氮氣之鋼瓶(40 kg/cm^2)釋出，經氣壓調整器及流量計調節控制，在溫濕度控制器出風口導入燻蒸室中。SO_2濃度之測定，是經由乾式抽氣馬達，將氣體由燻蒸室中抽送至SO2氣體測定儀(CSI Model SA700 fluorescence SO_2 analyzer)，連續測定SO_2濃度，並每7天用校正儀(VICI Model 110 dynacalibrator)校正一次。

植株受空氣污染傷害調查及傷害度之計算

蔬菜作物經SO_2處理一定時間後，依葉片受害的比例分爲七級，其調查方法和傷害度之計算如同以前報告(Shiau 等, 1993)。

二氧化硫對黑斑病菌菌絲生長及產孢之影響

將病菌單孢培養於馬鈴薯葡萄糖瓊脂(PDA)培養基上，菌絲長出後取尖端末產孢之部份，培養於PDA平板上，再放入密閉玻璃燻蒸瓶，玻璃瓶的容量爲十公升，把濃度1、3、6、8和10 ppm SO_2 分別注入玻璃瓶，而以無處理SO_2 的當對照，共處理五天，每天灌注一次每次 10 min，每處理三重複，處理後置於24℃、40W 日光燈1100 Lux光照下培養，在培養後第二天開始測量菌絲生長直徑，共測四天，並於第四天在生長菌絲圈往內0.5 cm處，用打孔器打直徑1 cm之圓盤，置於試管中，再加入5 ml水，在振盪器振盪15秒，以血球計數器計算孢子數。

二氧化硫對黑斑病菌孢子發芽之影響

病菌單孢培養於PDA七天後，以移植針輕刮菌落表面，沾取少量孢子，置於消毒過之試管中，試管灌入SO_2 0～10 ppm，每隔1 ppm爲一處理共11處理，每處理3重複，注入SO_2後以橡皮塞塞緊，處理一天後加入5 ml水，以振盪器振盪15秒，倒於PDA平板培養基上，16 hr後，鏡檢計算孢子發芽數。

二氧化硫對黑斑病菌形成附著器之影響

病菌培養於PDA七天後，處理800ppb SO_2，隨後在每一平板加入10 ml無菌水，以移植針輕刮菌落後，以雙層紗布濾去菌絲及雜質，所得孢子懸浮液當接種源。將懸浮液均勻噴灑於芥藍菜葉片上，經24 hr後，以0.05%棉藍染色固定，用倒立顯微鏡鏡檢計算孢子發芽及附著器形成數。

二氧化硫對黑斑病病勢進展之影響

芥藍菜(C273)及青江白菜(C177)種子，播種於六寸植缽中，每盆3粒，各6重複，二十五天後進行試驗，病菌接種源是培養於PDA七天，所配成之孢子懸浮液(1x10^5/ml)，本試驗分成兩種，一爲先將蔬菜分別處理SO_2 200、500或800 ppb 6 hr，再接種病菌，另一處理爲接種病原菌24 hr後，再分別處理SO_2 0、200、500或800ppb 6 hr，二十四小時後調查罹病度。

黑斑病罹病度計算方法

黑斑病依其病斑大小分成五級；0級(N0)：無病徵；1級(N1)：病斑直徑爲0.1～1 mm；2級(N2)：病斑直徑爲1.1～5 mm；3級(N3)：病斑直徑爲5.1～10 mm；4級(N4)：病斑直徑爲10.1 mm以上。再依下列公式計算罹病度。

罹病度(%)＝

$$\frac{(N1x1)+(N2x2)+(N3x3)+(N4x4)}{(N0+N1+N2+N3+N4)x4} \times 100$$

二氧化硫對芥藍菜黑斑病病斑擴展之影響

將芥藍菜C273分別處理200、400 ppb SO_2 6 hr後，接種病菌孢子懸浮液(10^5/ml)，接種後7天調查黑斑病罹病度。

黑斑病菌影響芥藍菜對SO_2之反應

芥藍菜(C273)種植25天後，進行以下五種試驗：(1)將病菌孢子接種於馬鈴薯葡萄糖培養液(PDB)，經24 hr培養後，用過濾瓶把病菌及培養液殘渣濾掉，把過濾液噴灑於葉片上，再處理800 ppb SO_2；(2)病菌孢子懸浮液接種後再處理 800 ppb SO_2；(3)以未經培養病菌之PDB以過濾瓶過濾殘渣，把過濾液噴灑於葉片上，再處理800 ppb SO_2；(4)用 400mesh金鋼砂灑於葉片上，再以棉花輕擦葉表造成肉眼看不出之小傷口，以無菌水清洗表面，待水份乾後立即處理800ppb SO_2 6hr；(5)對照組處理800 ppb SO_2 6 hr。每處理3重複，處理一天後調查SO_2傷害度。

芥藍菜感染黑斑病菌後生理生化之改變

本試驗包括：(1)芥藍菜先接種病菌後再處理800 ppb SO_2；(2)芥藍菜直接處理SO_2 800ppb；(3)芥藍菜只接種病菌；(4)對照不處理SO_2和不接種病菌，每處理3重複，處理後用LI-COR LI-1600 porometer 測定氣孔導度，計錄處理2及6 hr後氣孔導度之變化，並測定乙烯產生以及穀胱甘呔、抗壞血酸、穀胱甘呔還原酵素與抗壞血酸氧化酵素等之含量或活性。

(一)乙烯之產生測定：

採取第4或第5葉柄，放入有20 μl 再蒸餾水(DDW)的採血管中，以管塞塞緊靜置2 hr，打開管塞以新鮮空氣充份沖洗管內空間，經靜置1 hr，以注射筒抽取1 ml氣體，以配備有活性鋁粉分析管柱及火焰離子檢測器(FID)之Shimadzu GC-14A氣體層析儀測定乙烯，並以C-R6A積分儀計錄，測定後將葉柄取出稱重，換算每克鮮重所產生之乙烯量。

(二)穀胱甘呔(glutathione, GSSG)含量之分析(Rao & Dubey, 1993)：

取1g葉片，用液態氮磨碎，加入50 ml 2M磷酸緩衝液(pH 7.5)和40 μl 4-vinyl- pyridine，混合均勻靜置 1 hr，以12,880g 離心15 min，取 400 μl 萃取液，加入400 ml reagent 1 [(110 mM $Na_2HPO_4 \cdot H_2O$、40 mM $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$、15 mM EDTA、0.04 % BSA (bovine serum albumin)、0.3 mM DTNB [5,5'-dithiobis (2-nitrobenzoic acid)] 再加入320 μl reagent 2 [(1mM EDTA、0.02% BSA、50mM imidazole(以 1M imidazole爲母液並用1N HCl調至pH 7.2)]，以及80 ml 之9 mM NADPH 溶液，混合均勻後用 spectrophotometer(Shimadzu UV-160A model) 測 Δ A412值，將所測之值以內插法求得正確含量。

(三)抗壞血酸(ascorbate)含量之測定 (Luwe 等, 1993；Rao & Dubey, 1993)：

葉片0.2 g 以液態氮磨碎，加入冷卻過的0.2 ml trichloroacetic acid(6%)，取抽出液200 μl，加入 200 μl 150 mM Na_2HPO_4, pH 7.4、200 μl D.W、400 μl 10%trichloroacetic acid、400 μl metaphosphoric acid、400 μl 4% bipyridyl (in 70% ethanol)和200 μl 3% $FeCl_3$ 充分混合後於37℃下靜置1 hr，以UV-160A光電比色計測Δ A525值。

(四)酵素活性測定：

稱取葉片0.3g，以液態氮磨碎，加入0.2M 磷酸緩衝液pH6.8 10ml，以10,000 g 離心25 min，取上層液供下列酵素測定。

1. 超氧歧化酵素(superoxide dismutase, SOD)之測定(Deckor, 1977)：先於石英管中加入0.1ml 1.5mM nitroblue tetrazolium, 0.2ml EDTA/NaCN(0.1M EDTA + 0.3 mM sodium cyanide), 2.6ml 0.2M 磷酸緩衝液 pH6.8及0.1ml葉片萃取液，混和後置於 40W 的光箱中5 min，取出加0.05 ml 0.12mM riboflavin再照光5 min後測A_{560} 值。

2. 穀胱甘呔還原酵素(glutathione reductase)的分析(Sandhu & Bassham 1977)：取上述製備之上層液100 μl，放入石英管中，加600ml 0.05M Tris-Cl buffer pH 7.5、100 μl 30mM $MgCl_2$ in 0.05M Tris-Cl buffer、100 μl 5mM GSSG in 0.05M Tris-Cl buffer，並在加入100 μl 1.5mM NADPH混合均勻後立即測Δ A340值。

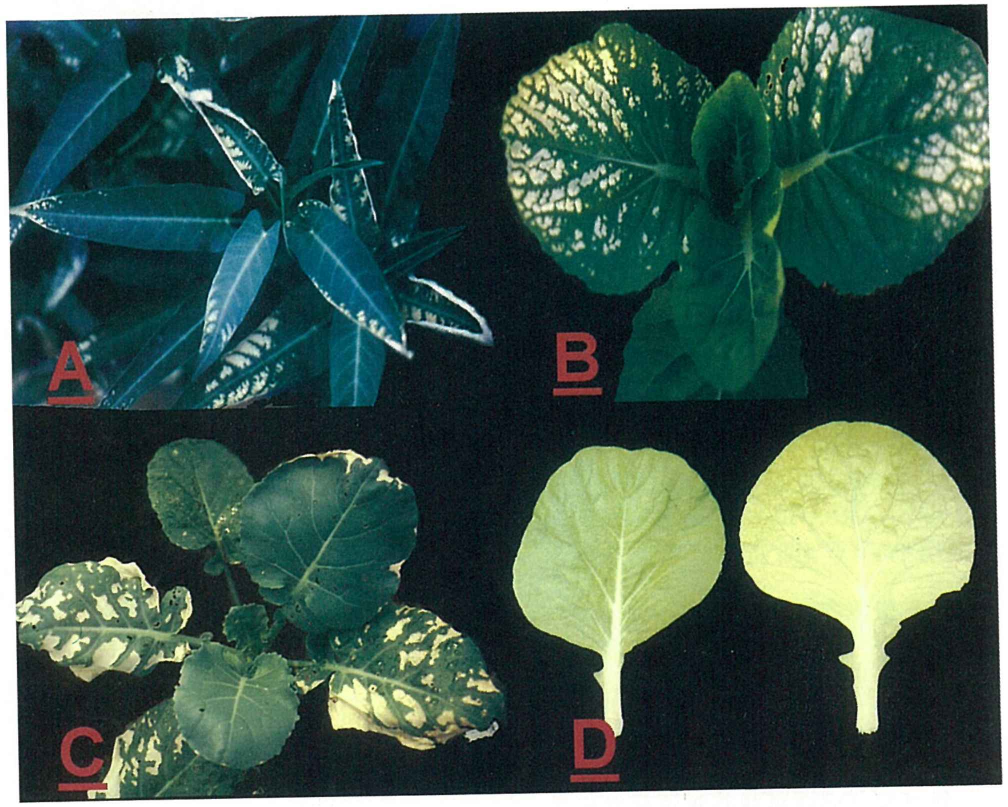
3.抗壞血酸氧化酵素(ascorbate peroxidase)

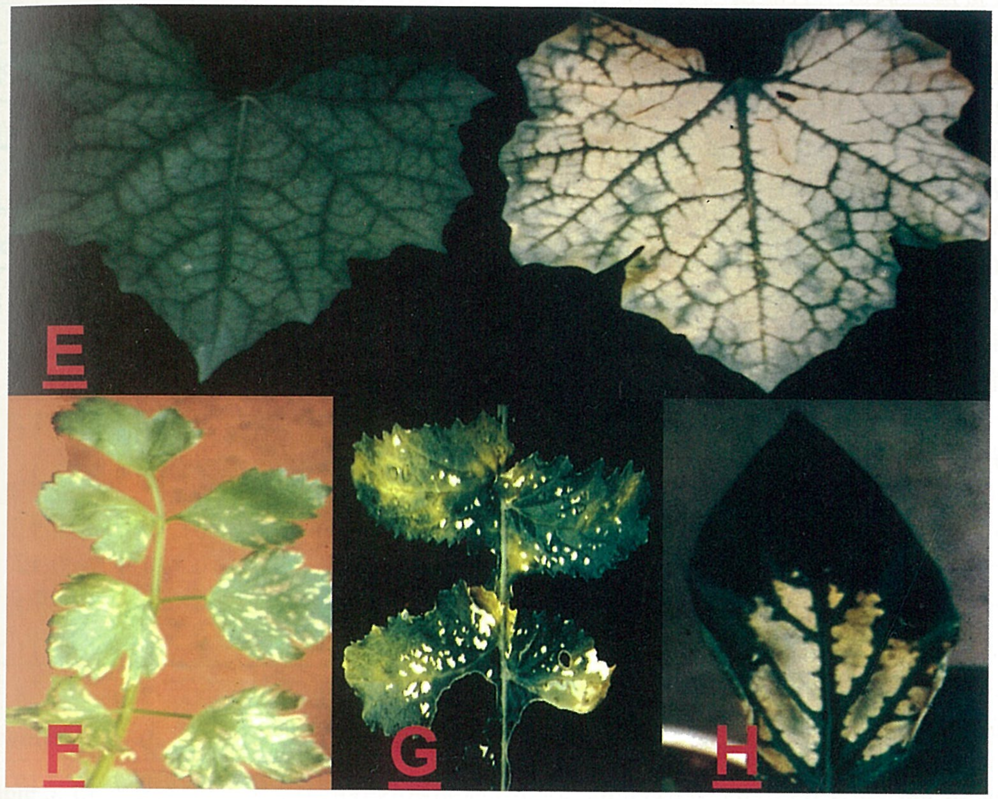
的分析(Peter 等,1989)：取製備之上層液30 μ l、加140 μ l DDW、600 μ l 166 mM Hepes -KOH pH 7.0 、 100ml 1mM EDTA 和30 μ l 1.5mM sodium ascorbate 於1ml quartz cuvette 混合均勻，再加入100 μ l 1.0 mM H_2O_2 混合均勻後立即測 ΔA_{265} 值。

結　　果

二氧化硫傷害蔬菜作物之病徵

蔬菜作物處理 800ppb SO_2 時會出現不同病徵,病徵可分爲乾化(圖一, E)、白化(圖一, A, B. C.)、褐化(圖一, F)、黃化(圖一, D)、黃白化(圖一, G)、水浸狀斑(圖一, H)，嚴重時造成葉片扭曲、萎凋。供試蔬菜中最敏感的爲芹菜，處理第一天即出現病徵，其他較敏感且在處理三天後傷害度超過50%有三種萵苣(平葉、嫩葉、皺葉)、菠菜139、芫荽、胡瓜瑞綠、絲瓜七美黑眼缸豆(表二、三、四)。極耐性沒有出現病徵者有西瓜富寶、紅莧、冬瓜吉樂、蘿蔔板葉種、洋香瓜和皇宮菜，耐性者(傷害度小於10%)有番茄臺南選4號、油菜農友、鳳山白菜、南瓜木瓜型、莧菜TVI3509、白莧、絲瓜東光、絲瓜91035 和北蔥234。品種間差異較大者有茼蒿大葉種(53.9)細葉種(19.1);油菜6931 (47.1) 油菜農友(7.1);胡瓜瑞綠(52.4)胡瓜萬綠(12.5);絲瓜七美(46.7)絲瓜91035 (7.5)。SO_2 造成之症狀爲乾化者爲絲瓜、胡瓜、南瓜和蒜。白化者有茼蒿、甜豌豆、番茄、油菜、蔥、甜椒、辣椒、芥藍菜、菠菜、蕪菁、花椰菜、青花菜、結球白菜、茄、蘿蔔裂葉種、白菜6953、白菜農友2號和鳳山白菜。褐化者爲芹菜、韭菜和芫荽。黃化者爲黃金白菜、莧菜和白莧。先出現水浸狀再轉爲白化、褐化者爲萵苣、芥藍菜和黑眼缸豆。





圖一、各種蔬菜處理二氧化硫後的病徵

(A)空心菜處理 800 ppb 二氧化硫五天後產生葉邊緣白化和卷起現象；(B)結球白菜 B11 處理 800 ppb二氧化硫四天後所產生之病徵；(C)芥藍菜 273 處理 800 ppb 二氧化硫五天後產生白色斑；(D)黃金白菜處理 800 ppb 二氧化硫產生黃化(左)對照(右)。(E)絲瓜七美處理 800 ppb 二氧化硫五天後產生乾化現象(右)對照(左)；(F)芹菜處理 800 ppb 二氧化硫五天後產生褐色斑點；(G)蘿蔔處理 800 ppb 二氧化硫五天後產生白色斑點和黃化；(H)甜椒處理 800 ppb 二氧化硫五天後產生白色斑塊。

Fig.1. Symptoms of sulfur dioxide injury to vegetable crops

(A) Bleaching symptoms along leaf margins on Ipomoea reptans (L.) Poir. treated with sulfur dioxide 800 ppb for 5 days; (B) Symptoms of sulfur dioxde injury to Chinese cabbage B11 treated with sulfur dioxde 800 ppb for four days; (C) Bleaching symptoms of Chinese Kale cultivar 273 treated with 800 ppb sulfur dioxide for 5 days; (D) Yellowing symptoms of Chinese cabbage cultivar Golden treated with 800 ppb sulfur dioxide for 5 days. (E) Bleaching desiccated symptoms(right) of vegetable sponge cultivar Seven Beauty treated with 800 ppb sulfur dioxide for five days, check(left); (F) Browning spots on celery leaves treated with sulfur dioxde 800 ppb for 5 days; (G) Whitish spots and yellowing on radish leaf treated with sulfur dioxide 800 ppb for 5 days; (H) Whitish blotches on sweet pepper leaf treated with 800 ppb of sulfur dioxide for 5 days.

番椒和結球白菜品種品系間對SO_2之反應

番椒處理高濃度SO_2(800ppb)會造成葉脈間直接漂白病徵，且隨處理時間增長，沿葉脈間逐漸擴大至完全漂白，而僅剩葉脈仍維持綠色，結果造成葉片捲曲枯乾，最後提早落葉，處理800ppb SO_2比較容易出現明顯差異，但高濃度時則敏感及耐性品種呈現類似病勢。不同品種間以C16 (52.8)最敏感而C50受害度(6.8)最低。其他受害度超過40％尚有C23和C55，低於10％尚有C88、C90、C98、C129-5、C147和C153-1。

結球白菜處理800ppb SO_2後，下位葉較易受害，於葉尖出現水浸狀，並沿葉脈間隙向下擴展，逐漸漂白，最後整葉只有葉脈呈綠色，形成明顯對比，心葉由於有成長葉包覆只在葉尖邊緣出現白斑，兩者均隨處理時間增長而逐漸嚴重，株齡較大者受害較輕，最初只出現零星白斑，隨處理時間增長，白斑增多、擴大、癒合佈滿整個葉片，數天後葉片受害部位會變碎而破裂。品種間以B11於800 及1200ppb SO_2處理時受害度最大，B26則受害度最小，用800 ppb SO_2處理時，其他受害度超過35%尚有B1，低於10%尚有B2、B3、B4、B7、B12、B13、B14和B53。由於B11與B26之生長相當快葉面積大，極適合以同一葉片做不同之生理生化研究。

二氧化硫不同濃度對病菌菌絲生長及產孢之影響

不同濃度SO_2處理5天時，病菌菌絲生長並沒有受到影響，但產孢量則受高濃度SO_2之影響(表五)。

二氧化硫對黑斑病菌孢子發芽之影響

二氧化硫燻蒸病菌之乾燥孢子後，用DW做成懸浮液後倒在PDA平板上，在25℃經24 hr，用解剖顯微鏡鏡檢五點，每點約爲0.19 cm^2，結果對照無SO_2處理者病菌孢子發芽率約43.5％，處理1-8 ppm之間的發芽率雖有些下降，但與對照統計上無顯著差異，經SO_2 9 ppm以上處理，其發芽率明顯降低至30％以下。

表二、葉菜類蔬菜對SO_2之反應

Table 2. The response of leafy vegetable crops to SO_2.

葉菜類	Disease index (%)		
種 類	1	2	3(days)
芹菜	32.8	46.6	51.8
茼蒿大葉種	0	21.8	39.2
茼蒿細葉種	0	6.1	11.5
大白菜075	0	21.5	34.5
油菜6960	0	13.9	22.9
油菜6931	0	10.4	47.1
80天油菜	0	3.7	12.8
油菜(農友)	0	0	7.1
白菜6953	0	0	11.9
鳳山白菜	0	2.6	8.3
黃金白菜	0	0	yellowing
白菜農友2號	0	8.7	19.3
山茼蒿(昭和草)	0	5.2	28.7
芥藍菜273	0	13.9	22.9
青江白菜177	0	15.2	24.3
青花菜053	0	0	40.2
平葉萵苣	0	54.4	58.9
嫩莖萵苣	0	26.1	58.9
皺葉萵苣	0	47.9	50.7
莧菜TVI 3509	0	0	7.4
紅莧	0	0	0
白莧	0	0	2.2
菠菜139	0	29.1	62.5
芫荽	0	44.9	64.7
花椰菜	0	24.2	32.5
結球白菜026	0	34.7	40.6

表三、 瓜類蔬菜對SO_2之反應

Table 3. The response of cucurbit crops to SO_2.

瓜 類	Disease index (%)			
種 類	1	2	3	4(days)
西瓜富寶	0	0	0	0
洋香瓜秋香	0	0	0	0
胡瓜瑞綠	0	11.8	11.8	52.3
胡瓜綠豐	0	11.7	18.3	35.0
胡瓜90801	0	10.4	14.6	27.9
胡瓜永綠	0	2.1	2.1	18.8
胡瓜萬綠	0	10.9	12.6	12.5
南瓜鳳凰	0	4.2	12.5	18.8
南瓜木瓜型	0	0	8.3	8.3
冬瓜吉樂	0	0	0	0
絲瓜七星	0	21.7	28.6	36.6
絲瓜七美	0	11.6	46.6	53.8
絲瓜91039	0	4.4	21.1	35.2
絲瓜東光	0	0	4.4	11.3
絲瓜91035	0	0	7.5	14.5

表四、其他蔬菜類對SO_2之反應

Table 4. The response of vegetable crops other than leafy and cucurbit to SO_2.

其他蔬菜	Disease index (%)			
類 種 類	1	2	3	4(days)
北蔥234	0	2.1	8.3	10.1
蒜	0	34.2	34.9	37.1
屏東長茄	0	0	0	21.9
青椒110	0	19.9	29.9	39.1
黑眼缸豆	0	4.5	48.7	51.2
甜豌豆	0	25.3	32.7	37.5
番茄台南選2號	0	11.6	12.0	13.1
番茄台南選4號	0	2.3	3.3	7.4
蕪菁	0	0	2.8	15.6
辣椒英雄	0	0	15.4	21.2
韭菜	0	1.7	11.3	12.5
紅蘿蔔	0	31.7	38.6	40.5
蘿蔔(裂葉種)	0	0	3.3	11.8
蘿蔔(板葉種)	0	0	0	0

表五、二氧化硫對*Alternaria brassicicola*在PDA菌絲生長和產孢之影響

Table 5. Effect of SO_2 on mycelial growth and sporulation of *Alternaria brassicicola* on PDA.

Concentration	Mycelial radical growth (cm)				Sporulation
of SO_2 (ppm)	2nd day	3rd day	4th day	5th day	x $10^7/cm^2$
0	2.10a	2.80a	3.57a	4.32a	5.01a[1]
1	2.00a	2.70a	3.47a	4.15a	4.43ab
3	1.98a	2.68a	3.46a	4.28a	4.33ab
6	2.00a	2.70a	3.45a	4.30a	4.14ab
8	1.82a	2.52a	3.52a	4.35a	3.76b
10	1.88a	2.58a	3.46a	4.20a	3.57b

[1] Means in the same column of mycelial radical growth and numbers of conidia followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to Duncan's multiple range test.

二氧化硫對病菌附著器形成之影響

在PDA上產生之病菌孢子處理800 ppb SO_2後，接種於芥藍菜葉片，經24 hr後調查。結果經SO_2處理孢子發芽率爲70.2%，而對照約爲81.8%，附著器形成量也較少，SO_2處理者約爲55.6%，而對照爲約67.7%。

黑斑病菌影響芥藍菜對SO_2之反應

芥藍菜C273與青江白菜C177處理SO_2後，所表現之病徵受黑斑病菌感染之影響，SO_2 200ppb處理後不管有無接種病菌皆無SO_2傷害病徵，SO_2處理濃度爲500或800 ppb時，如同時感染黑斑病菌則加重SO_2之傷害徵狀(表六)。

二氧化硫影響芥藍菜黑斑病病斑之形成

病菌接種到經SO_2處理過之芥藍菜C_{273}葉片，共12重複，結果可由表七看出，沒有處理SO_2之對照產生病斑數最多，處理SO_2之黑斑病病斑數約減半。但罹病度兩者並無顯著差異。

表六、黑斑病菌之感染影響芥藍菜對SO_2之反應

Table 6. Effect of black spot fungus *Alternaria brassicicola* infection on the sensitivity of Chinese kale to SO_2.

Treatment	Concentration of sulfur dioxide, ppb							
	0(CK)		200		500		800	
	C273	C177	C273	C177	C273	C177	C273	C177
Sox←Alt←Sox	0a	0a	0a	0a	11.6a	10.6a	28.9a	23.6a[1]
Alt←Sox	0a	0a	0a	0a	10.6a	11.0a	29.1a	23.2a
Sox←←Sox	0a	0a	0a	0a	2.9b	2.8b	11.4b	12.5b

1 Means in the same column of damage index by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to Duncan's multiple range test.

表七、芥藍菜C273處理SO_2後對黑斑病菌*Alternaria brassicicola*之感染產生病斑和病勢進展之影響

Table 7. Effect of SO_2 on the lesion development on leaves of Chinese kale by *Alternaria brassicicola.*

Concentration of SO_2, ppm	Number of lesions/20 cm^2	Disease severity (%)
0(CK)	232 a[1]	25.55 a
200	110 b	25.37 a
400	142 b	25.26 a

1 Means number of necrotic spots on the 5th and 6th leaves of Chinese kale were recorded 7 days after inoculation with 1×105 spore/ml *Alternaria brassicicolat.* Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to Duncan's multiple range test.

黑斑病菌影響SO_2對芥藍菜傷害之探討

用400 mesh金鋼砂在葉片上造成微小傷口，並不能加重SO_2的傷害，以此處理800 ppb SO_2一天後如同對照(不用金鋼砂處理)並不產生病徵，但如用PDB噴灑再處理SO_2者被害度爲19.86％，而接種病菌再處理SO_2者被害度爲38.36％，最嚴重爲用病菌培養在PDB過濾液噴灑再處理SO_2者，被害度高達47.36％。

病菌影響芥藍菜生理生化性質

(一)氣孔導度：處理SO_2 2 hr後接種病菌再處理SO_2的氣孔導度最低，單獨處理SO_2氣孔導度較高，單獨接種病菌之氣孔導度沒有顯著增加。單獨處理SO_2者在6 hr後氣孔導度比在2 hr後低，但仍比無處理者高，單獨接種病菌或同時處理SO_2再接種病菌在測定的兩個時段，氣孔導度皆沒有顯著增加(表八)

(二)乙烯：單獨處理SO_2和同時接種病菌再處理SO_2者，在處理後2 hr乙烯產生量皆有顯著增加，單獨接種病菌者沒有增加，但處理後6 hr，單獨接種病菌、單獨處理SO_2以及同時接種病菌再處理SO_2三者之間乙烯產生量無明顯差異，但都比無任何處理的對照高(表九)。

表八、黑斑病菌和SO_2單獨或同時處理對芥藍菜氣孔導度之影響

Table 8. Effect of *Alternaria brassicicola* inoculation and SO_2 treatment alone or in combination on the leaf stomatal conductance of Chinese kale.

Treatment[1]	Hours after treatment	
	2	6
Alt + SO_2	0.69b	0.72ab[2]
SO_2	0.94a	0.78a
Alt	0.76ab	0.70ab
CK	0.73ab	0.63b

1 Alt=inoculated with *A. brassicicola,* SO_2=fumigated at 800 ppb

2 Means of stomatal conductance(cm/s) of leaves of Chinese kale. Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to Duncan's multiple range test.

表九、黑斑病菌和SO_2單獨或同時處理對芥藍菜產生乙烯之影響

Table 9. Effect of *Alternaria brassicicola* inoculation and SO_2 treatment alone or in combination on ethylene production by leaves of Chinese kale.

Treatment[1]	Hours after treatment	
	2	6
Alt + SO_2	137.0a	155.0a[2]
SO_2	141.0a	189.6a
Alt	77.6b	208.7a
CK	61.9b	60.5b

1 Alt=inoculated with *A. brassicicola,* SO_2=fumigated at 800 ppb

2 Ethylene production of leaves of Chinese kale (ppb/g fresh weight). Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to Duncan's multiple range test.

(三)超氧岐化酵素(SOD)：處理2 hr後各處理測定SOD時皆有明顯下降，但處理6小時後單獨處理SO_2之SOD活性最高，單獨接種病菌次之，這兩處理保持比對照組高，且有顯著差異，但同時接種病菌再處理SO_2者活性最低，比對照低(表十)。

(四)穀胱甘呔(GSSG)：處理2 hr後各處理間GSSG含量並無顯著變化。處理6 hr後單獨處理SO_2則有明顯降低，其餘則維持不變(表十一)。

表十、黑斑病菌和SO_2單獨或同時處理對芥藍菜超氧岐化酵素之影響

Table 10. Effect of *Alternaria brassicicola* inoculation and SO_2 treatment alone or in combination on the activity of superoxide dismutase in leaves of Chinese kale.

Treatment [1]	Hours after treatment	
	2	6
Alt + SO_2	0. 113b	0. 099d[2]
SO_2	0. 115b	0. 193a
Alt	0. 117b	0. 160b
CK	0. 144a	0. 126c

1 Alt=inoculated with *A. brassicicola*, SO_2=fumigated at 800 ppb

2 Means of superoxide dismutase activity (units/ g fresh weight) in leaves of Chinese kale. Number in the same column followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to Duncan's multiple range test.

表十一、黑斑病菌和SO_2單獨或同時處理對芥藍菜葉片含穀胱甘呔之影響

Table 11. Effect of *Alternaria brassicicola* inoculation and SO_2 treatment alone or in combination on glutathione in leaves of Chinese kale.

Treatment [1]	Hours after treatment	
	2	6
Alt + SO_2	104. 0a	106. 2a[2]
SO_2	106. 2a	94. 3b
Alt	106. 9a	103. 2a
CK	105. 2a	104. 8a

1 Alt=inoculated with *A. brassicicola*, SO_2=fumigated at 800 ppb

2 Glutathione (n mol./g fresh weight) in leaves of Chinese kale. Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to Duncan's multiple range test.

(五)穀胱甘呔還原酵素：處理2 hr後以單獨處理SO_2最高，其次爲單獨接種病菌，兩者皆有明顯之增加，同時接種病菌再處理SO_2則無明顯變化。處理6 hr後仍以單獨處理SO_2最高，單獨接種病菌次之，同時接種病菌再處理SO_2仍維持不變，由第二小時至第六小時間之酵素活性變化量只有單獨處理SO_2者增加，其餘除對照組不變外，活性均略爲降低(表十二)。

(六)抗壞血酸：處理2 hr後除單獨處理SO_2下降外，其餘各處理並無差異，處理6 hr後對照則大幅上升，其餘各處理之抗壞血酸濃度也都增加，但增加量比對照少(表十三)。

表十二、黑斑病菌和SO_2單獨或同時處理對芥藍菜穀胱甘呔還原酵素之影響

Table 12. Effect of *Alternaria brassicicola* inoculation and SO_2 treatment alone or in combination on the activity of glutathione reductase in leaves of Chinese kale.

Treatment [1]	Hours after treatment	
	2	6
Alt + SO_2	150b	144c[2]
SO_2	159a	168a
Alt	157a	156b
CK	145b	145c

1 Alt=inoculated with *A. brassicicola*, SO_2=fumigated at 800 ppb

2 Glutatione reductase activity(units/g fresh weight) in leaves of Chinese kale. Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to Duncan's multiple range test.

表十三、黑斑病菌和SO_2單獨或同時處理對芥藍菜抗壞血酸之影響

Table 13. Effect of *Alternaria brassicicola* inoculation and SO_2 treatment alone or in combination on ascorbic acid in leaves of Chinese kale.

Treatment [1]	Hours after treatment	
	2	6
Alt + SO_2	21. 2a	26. 4b[2]
SO_2	17. 7b	27. 3b
Alt	21. 2a	26. 8b
CK	21. 2a	33. 1a

1 Alt=inoculated with *A. brassicicola*, SO_2=fumigated at 800 ppb.

2 Ascorbic acid (μmol./g fresh weight) in leaves of Chinese kale. Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to Duncan's multiple range test.

(七)抗壞血酸氧化酵素：:處理2 hr後除單獨處理SO_2抗壞血酸氧化酵素活性有明顯增加外，其餘各處理均無顯著差異，處理6 hr後各處理均增加，而以單獨處理SO_2者最高，和對照有顯著差異，而單獨接種病菌者和對照組之變化相似，而同時接種病菌再處理SO_2者其增加量比對照低(表十四)。

表十四、黑斑病菌和SO_2單獨或同時處理對芥藍菜抗壞血酸氧化酵素之影響
Table 14. Effect of *Alternaria brassicicola* inoculation and SO_2 treatment alone or in combination on the activity of ascorbate peroxidase in leaves of Chinese kale.

Treatment [1]	Hours after treatment	
	2	6
Alt + SO_2	3.3 b	4.0 c[2]
SO_2	4.9 a	6.5 a
Alt	3.5 b	5.3 b
CK	3.7 b	5.2 b

[1] Alt=inoculated with *A. brassicicola*, SO_2=fumigated at 800 ppb
[2] Ascorbate peroxidase activity(units/g fresh weight) in leaves of Chinese kale. Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to Duncan's multiple range test.

討　論

二氧化硫處理植物後，一般常見之病徵爲葉緣及葉脈間漂白褐化(李及李，1984)，本研究發現SO_2對蔬菜造成之症狀可分爲乾化、白化、褐化、黃化、水浸狀，嚴重時造成葉片扭曲、萎凋。即使是同一作物，因品種不同，對SO_2之忍受性及反應亦有所差異(林, 1982; Biggs & Savis, 1980; Sandhu & Gupta, 1989; Bressan 等 ,1978)，Shiau 等 (1993) 指出溫度與日照對SO_2傷害症狀也有影響，本研究利用自然光在密閉玻璃燻蒸室內，由溫濕度控制機控制溫度，因此影響較少，而冬天日照較夏天低，相對傷害也較慢較輕。植物處理SO_2而呈現不同傷害症狀，可能原因與植物生理性狀有關，如葉片含水量、蒸散速率、細胞壁組成成份等，另外生化性質，如代謝途徑不同而使代謝產物不同，在累積或傷害植物細胞時產生不同顏色與傷害症狀。本研究顯示葉菜類以芹菜、萵苣較敏感，處理一天即出現病徵且傷害度超過50%，而莧菜較有耐性低於10%(見表二)。敏感品種(傷害度大於50%)除芹菜和萵苣外尙有菠菜 139和芫荽。瓜類則依品系不同而異，而以西瓜富寶、冬瓜吉樂和洋香瓜最耐性，胡瓜瑞綠和絲瓜七美則最敏感。其他蔬菜類如向日葵則較敏感，SO_2處理一天即出現褐化是極敏感作物。造成品種間差異之原因可能與細胞間生化解毒過程與解毒酵素活性有關，Rao (1992)指出植物抗SO_2之差異性主要在於植物株齡以及細胞之解毒過程，而解毒作用依株齡與品種之不同而異。此外Bressan等(1978)指出對SO_2敏感程度主要決定於對SO_2吸收率，以及將SO_2轉化成H_2S再排出植物體之能力有關。由於SO_2病徵在其他生物寄生性病害與生理病害很少見到，似乎可依此做爲判斷依據，但由於田間空氣污染源的種類很多，是否有其他效應出現，無法斷言(呂; 1991)。謝(1988)指出玉米風害所造成之病徵與空氣污染物所造成之症狀極易混淆，故病徵可以做爲診斷的工具，卻無法作爲唯一判斷依據。

黑斑病是十字花科蔬菜重要病害之一，本省終年發生，可降低品質與產量。印度及加拿大有受害而減產的記錄 (McDonald, 1959)。Kolte 等(1987)指出 *A. brassicicola*與 *A. brassicae* 兩菌，分別使芥藍菜與油菜產量損失達35.38及46.57%。本病的病原菌有 *A. brassicicola, A. brassicae* 及 *A. raphani* 等三種(Wiltshire, 1947)，本省以 *A. brassicicola* 發生率最高，整年爲害白花芥藍，而 *A. brassicae* 爲害白花芥藍的適當時機卻侷限於低溫季節(鍾, 1993)，本研究選用 *A. brassicicola* 爲對象。此病菌在PDA生長快，適合以其菌絲處理SO_2。黑斑病菌菌絲對SO_2具相當耐性，但產孢量受8 ppm以上SO_2之影響而降低，孢子處理9 ppm以上SO_2其發芽率明顯受抑制。研究黑斑病菌孢子發芽時在24 hr 內一定要完成計算，否則剛產生的孢子會與原來發芽較慢的孢子混淆而產生誤差。SO_2處理後之病菌附著器及發芽率明顯降低，而乾燥孢子對SO_2抗性比潮濕孢子強。是否爲SO_2溶於水造成酸化的環境條件而影響病菌發芽與侵入(金、吳, 1990)，有待進一步研究。

雖然SO_2可減少病菌產孢能力，但其抑制產孢濃度爲常規SO_2之數十倍，以SO_2防治黑斑病並不實際。SO_2在一般大氣法規濃度(工廠不得超過500 ppb，一般大氣不得超過300 ppb(無名氏, 1990))對感染黑斑病菌之蔬菜並不會造成可視性傷害—出現病徵，但在工廠附近SO_2濃度可能高達500 ppb以上，在此條件下如有黑斑病菌感染則SO_2之傷害會加重，因此在評估SO_2爲害程度時，也要注意是否有病菌感染，防治黑斑病爲害有助於減輕SO_2之傷害。Dohmen(1987)指出臭氧會減低銹病菌夏孢子的致病力，因而減少銹病之嚴重性，而Winner & Cotter (1987)指出臭氧及SO_2對降低植物生長及對銹病之抗性並無相關性。病菌感染處理過SO_2之芥藍菜葉，其黑斑病斑之病斑數有明顯減少，顯示病菌孢子在芥藍菜葉片上受植物水份之影響，使孢子呈現潮濕狀，因此增加對SO_2敏感性而使病斑數減少，但罹病度雖略有減少但統計上並無差異。由此可知黑斑病勢之進展不受SO_2之影響，此結果與菌絲不受SO_2影響符合。

探討黑斑病菌使芥藍菜對SO_2較感病原因，發現以400 mesh金鋼砂所造成微小傷口，並不會增加芥藍菜對SO_2的敏感性，由此推測病菌形成附著器後伸出侵入釘對表皮細胞所造成之傷害，不會使芥藍菜對SO_2增加感受性，因此增加芥藍菜對SO_2的感受性可能不是物理因子。以病菌培養之過濾液噴灑，雖然分析上與接種病菌再處理SO_2相同，但傷害度卻較高，被病菌感染後病原菌產生之物質可能引起寄主反應，而使其對SO_2變得較敏感。因此本研究更進一步探討芥藍菜生理生化之改變。Buchwaldt & Jensen (1991) 和 Buchwaldt & Green(1992) 指出 *A. brassicae* 會產生植物性毒素，destruxin B、homodestruxin B以及少量 destruxin B2，病菌感染植物後會在植物內產生這些毒素，Dahiya & Tewari(1991)也測出 *A. brassicae*會產生 N-methyl-2,5-dimethyl-N-cinnamoylpiperazine 、 2-hydroxy-1-methylzeatin 及 3-carboxy-2-methylene-4-pentenyl-4-butenolide.，這三種物質會降低植物生長率，這些毒素是否會影響寄主對SO_2之敏感性，有待進一步研究。

植物葉片氣孔導度之大小，爲決定SO_2藉由擴散作用進入植物之主要因子，氣孔開張之情況會影響光合作用之效率。在生理上氣孔開度顯示無處理之對照組在第六小時測定時爲下午三點，日照減少而使光合作用降低，導致氣孔導度下降。在第二小時測定時之氣孔導度以單獨處理SO_2者

最高，而以接種病菌再處理SO_2最低，可能病菌產生之物質影響氣孔開度，第六小時因光合作用減弱，除接種病菌再處理SO_2外，其餘之氣孔導度均減少，接種病菌再處理SO_2之氣孔導度，可能受病菌與SO_2交互影響，而無明顯變動，由此可知，接種病菌再處理SO_2較易受SO_2傷害之原因可能與氣孔導度變化無關。

細胞受傷害時會產生乙烯(Shimazaki等，1984)，本研究在處理後2 hr，單獨處理SO_2時寄主反應較快，產生大量乙烯，接種病菌再處理SO_2也受SO_2傷害影響，乙烯產生較多，而顯示細胞於此時受害嚴重。單獨接種病菌則在2 hr內病菌尙不會對寄主造成大傷害，故乙烯量並不增加。六小時後單獨接種病菌可能是植物受病菌侵入爲害之影響，而產生組織褐化病變之作用，使乙烯大量增加，與單獨處理SO_2之乙烯產量相似，但接種病菌再處理SO_2，乙烯只有少許增加，並無SO_2與病菌加成作用，而造成接種病菌再處理SO_2較易受SO_2傷害原因，除第二小時受害嚴重外，可能還有其他原因。

超氧歧化酵素在SO_2傷害的植物體，扮演重要清除有害物質的角色(Tanaka 等，1988)，SOD主要功能在於清除O_2^-·，以避免光合色素受到破壞，本研究黑斑病菌和SO_2個別或同時處理芥藍菜，SOD在2 hr均下降，SOD的降低會導致受SO_2傷害之植物體內O_2^-·濃度增加，O_2^-·濃度過高時會抑制其他酵素，使細胞受害更嚴重。單獨接種病菌時病原菌產生之物質會影響SOD，單獨處理SO_2則是受SO_2影響而降低SOD，處理6 hr後單獨處理SO_2與單獨接種病菌之SOD被誘導而增加，但接種病菌再處理SO_2卻受二者雙重影響，使SOD維持下降狀態，而容易受SO_2產生之O_2^-·所傷害。

Jablonski & Anderson(1981)指出穀胱甘呔還原酵素在H_2O_2清除過程中是一速率限制酵素，處理2 hr時單獨處理SO_2與單獨接種病菌之穀胱甘呔還原酵素增加，單獨處理SO_2者6 hr後活性更繼續增加，以清除SO_2之傷害物質，接種病菌再處理SO_2受兩者雙重壓力之影響，剛處理2 hr後穀胱甘呔還原酵素活性無明顯上升，至第六小時後更出現活性略降低之現象，由此可知接種黑斑病菌再處理SO_2者，清除H_2O_2的能力極爲有限，可能導致植物對SO_2比較敏感而容易受傷害，病徵也提早出現。

穀胱甘呔(GSSG)在處理後2 hr各處理間無顯著差異，第六小時後單獨處理SO_2者利用細胞內還原態穀胱甘呔(GSH)進行清除作用，由於穀胱甘呔還原酵素活性增加，在NADPH存在下把GSSG還原成GSH，因此GSSG含量下降，而只接種病菌者穀胱甘呔還原酵素降低，使GSSG無法還原成GSH，更支持病菌產生之物質破壞清除SO_2之功能。而接種病菌再處理SO_2則受二者之雙重影響，穀胱甘呔還原酵素被抑制，而使GSSG累積，而無法耐受SO_2所造成之傷害。

Peters等(1989)報告SO_2不影響斑豆細胞內之抗壞血酸氧化酵素，而Tanaka 等(1982)指出菠菜處理SO_2會抑制抗壞血酸氧化酵素，但Sheng (1991)則報告大豆耐性品種處理SO_2後抗壞血酸氧化酵素有上升現象，而感性品種則保持不變或略減少。本研究中顯示芥藍菜單獨處理SO_2後，抗壞血酸氧化酵素在2 hr時活性最高，而抗壞血酸則被消耗而呈較低狀況，顯示植物以抗壞血酸來清除H_2O_2，其餘處理的抗壞血酸氧化酵素並無差異，接種病菌再處理SO_2者，其抗壞血酸氧化酵素似乎受抑制，因此抗壞血酸並無變動。處理後6 hr對照的抗壞血酸含量增加，而單獨處理SO_2因清除SO_2產生之H_2O_2而使抗壞血酸含量降低，但單獨接種病菌者之抗壞血酸生合成可能受病菌影響而降低，而接種病菌再處理SO_2，雖然抗壞血酸氧化酵素於6 hr後有少量增加，但抗壞血酸生合成受病菌以及SO_2影響，使其含量也降低，而使保護植物之能力變小。當黑斑病菌與SO_2同時傷害芥藍菜時，抗壞血酸的生合成可能受病菌之影響而降低，而無法清除SO_2所產生的各種有害反應物，而很快出現SO_2傷害病徵。

綜合以上得知，處理SO_2會減少黑斑病的感染，同時感染黑斑病菌之蔬菜對SO_2較敏感，其原因可能是由於植物清除體內有害物質過程中SOD、穀胱甘呔還原酵素以及抗壞血酸氧化酵素受病菌影響無法上升。由於植物酵素種類很多，生合成過程也有很多，是否有其他生化作用會影響植物與病菌的交互作用，有待進一步探討。由此研究得知防除SO_2污染的同時，也應注意到其他會增加對SO_2敏感之因子，以便謀求對策減少作物的損失。

誌　謝

本研究承行政院農委會及臺灣省政府農林廳補助經費，番椒和結球白菜種子由亞洲蔬菜研究中心提供，文成後承曾德賜教授費心斧正，特此誌謝。

引用文獻

呂明長。1991. 二氧化硫對大豆和玉米之影響。國立中興大學碩士論文。

李國欽、李貽華。1984. 空氣污染爲害作物之診斷。臺灣植物保護中心印行。

李貽華、李國欽。1985. 空氣污染對農作物之影響 I. SO_2之影響。科學農業33:60-67.

林國全。1982. 二氧化硫對七種樹之葉部之可見爲害。臺灣省林業試驗所試驗報告第379 號。

林正忠、張光顧、孫岩章。1986. 番石榴果樹對於六種常見空氣污物敏感度與病徵指標研究。行政院環境保護署印行。

金翠霞、吳亞。1990. 空氣污染與植物病蟲害。藝軒圖書出版社印行。pp.68-74。

無名氏。1990.公害處理手冊。臺灣省政府農林廳編印。p47.

鍾文全。1993. 臺灣十字花科蔬菜黑斑病菌的生物特性研究。國立中興大學論文

Biggs, A. R. and D. D. Savis. 1980. Stomatal response of three birch species exposed to varying acute doses of SO_2 . J. Amer. Soc.Hort.Sci. 105:514-516.

Bressan, R. A., G. Wilson and P. Filner. 1978. Mechanisms of resistance to sulfur dioxde in the cucurbitaceae. Plant Physiol. 61:761-767.

Buchwaldt, L. and H. Green. 1992. Phytotoxicity of destruxin B and its possible role in the pathogenesis of *Alternaria brassicae*. Plant Pathol. 41:55-63.

Buchwaldt, L. and J. S. Jensen. 1991. HPLC purification of destruxins produced by *Alternaria brassicae* in culture and leaves of *Brassica napus*. Phytochemistry 30:2311-2316.

Dahiya, J. S. And J. P. Tewari. 1991. Plant growth factors produced by the fungus *Alternaria brassicae*. Phytochemistry 30: 2825-2828.

Deckor, L. A. 1977. Worthington Enzymes Manual. Worthington Biochem. Co. Freehold, New Jersey, U. S. A.

Dohmen, G. P. 1987. Secondary effects of air pollution: Ozone decreases brown rust disease potential in wheat. Environ. Pollut. 43:189-194.

Heagle, A. S. 1982. Interactions between air pollutants and parasitic plant diseases. In:Effects of Gaseous Air Pollution in Agriculture and Horticulture. (eds.) M. H. Unsworth and D. P. Ormrod. p.333-348.

Hughes, P. R. and J. A. Laurence. 1984. Relationship of biochemical effects of air pollutions on plants to environmental problems:insect and microbial interactions In:Gaseous Air Pollutants and Plant Metabolism. (eds.) M. J. Koziol &

G. R. Whatley. p. 361-377.

Jablonski, P. P. and J. W. Anderson. 1981. Light-dependent reduction of dehydro-ascorbic acid by ruptured pea chloroplasts. Plant Physiol. 67:1239-1244.

Kolte, S. J., R. P. Awasthi and M. Vishwanath. 1987. Assessment of yield losses due to *Alternaria brassicicola* blight in rapeseed and mustard. Indian Phytopathol. 40:209-211.

Luwe, M. W. F., U. Takahama and U. Heber. Role of ascorbate in detoxifying ozone in the apoplast of spinach (*Spinacia oleracea* L.) leaves. Plant Physiol. 101: 969-976.

McDonald,W.C. 1959. Gray leaf spot of rape in Manitoba. Can. J. Pl. Sci. 39:409-416.

Peters, J. L., F. J. Castillo and R. L. Heath. 1989. Alteration of extracellular enzymes in pinto bean leaves upon exposure to air pollutants, ozone and sulfur dioxide. Plant Physiol. 89:159-164.

Rao, M. V. 1992. Cellular detoxifying mechanisms determine the age dependent injury in tropical trees exposed to SO_2. J. Plant Physiol. 140:733-740.

Rao, M. V. and P. S. Dubey. 1993. Response of hydrogen peroxide scavenging system in two soybean cultivars exposed to SO_2: experimental evidence for the detoxification of SO_2 by enhanced H_2O_2 scavenging components. Environ. Pollut. 82: 99-105.

Sandhu, R. and J. A. Bassham. 1977. Chloroplast glutathione reductase. Plant Physiol. 88:1215- 1218.

Sandhu, R. and G. Gupta. 1989. Effects of nitrogen dioxide on growth and yield of black turtle bean(*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Domino, Environ. Pollut. 59:337-344.

Shiau, J. F., S. P. Y. Hsieh, S. T. Kao, M. C. Leu and J. S. Yang. 1993. Varietal sensitivities of rice, soybean and corn to sulfur dioxide. Plant Pathol. Bull. 2:43-51.

Sheng, W. S. 1991. Responses of gas exchange and the anti-oxidant system of soybean cultivars to ozone and/or sulfur dioxide. Plant and Soil 131:132-134.

Shimazaki, K., K. Ito, N. Kondo and K. Sugahara. 1984. Reversible inhibition of the photosynthetic water-splitting enzyme system by SO_2-fumigation assayed by chlorophyll fluorescence and EPR signal in vivo.Plant & Cell Physiol. 25: 795-803.

Tanaka,K., I. Furusawa, N. Kondo and K. Tanaka.1988. SO_2 tolerance of tobacco plants regenerated from paraquat-tolerant callus.Plant & Cell Physiol. 29:743-746.

Tanaka, K., T. Otsubo and N. Kondo. 1982. Participation of hydrogen peroxide in the inactivation of Calvin cycle SH enzymes in SO_2-fumigated spinach leaves. Plant and Cell Physiol. 23:1009-1018.

U.S. Environment Protection Agency. 1978. Diagnosing vegetation injury caused by air pollution. Applied Science Associated, Inc.

Wiltshire, S. P. 1947. Species of *Alternaria brassicicola* on Brassicae.Mycological papers. No.20.

Winner, W. E. and I. S. Cotter 1987. Screening loblolly pine seedling responses to SO_2 and O_3: Analysis of families differing in resistance to fusiform rust disease. Environ. Pollut. 47:205-220.